

Wechselwirkung von Laser mit Gewebe

Anonym

14.10.2024

Abstract

Diese Arbeit untersucht die Wechselwirkung von Lasern mit biologischem Gewebe. Die Lasertechnologie ermöglicht eine präzise Manipulation von Gewebe, was zu unterschiedlichen biologischen Reaktionen führt. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf zwei zentralen Mechanismen: der Photoablation, die eine genaue Materialentfernung ohne thermische Schädigung ermöglicht, und der Photodisruption, die höhere Leistungsdichten nutzt, um gezielte Gewebeerstörungen zu erzielen.

1 Einleitung

Laser spielen eine zentrale Rolle in der modernen Medizin, insbesondere in der minimalinvasiven Therapie. Die präzise Steuerung der Laserparameter ermöglicht verschiedene Gewebereaktionen. Um die Laseranwendungen effektiv einzusetzen, ist das Verständnis der Laser-Gewebe-Wechselwirkungen entscheidend. In dieser Arbeit werden die Hauptmechanismen der Photoablation und der Photodisruption beschrieben.

2 Laser-Gewebe Wechselwirkung

Die Wechselwirkung von Laser mit Gewebe spielt eine große Rolle in der medizinischen Versorgung. Trifft Laserlicht auf Gewebe, kann es zu unterschiedlichen Gewebereaktionen kommen. Es gibt unendlich viele Möglichkeiten der Gewebe-Laser-Interaktion, die wichtigsten fünf Kategorien sind Photochemische Interaktion, Photoablation, Photothermale Interaktion, Plasma-Induzierte Ablation und Photodisruption.[3] Alle fünf haben eine Energiedichte von $1 \text{ J/cm}^2 - 1000 \text{ J/cm}^2$ und unterscheiden sich nur zwischen der Intensität und der Expositionszeit (siehe Abbildung 1)[1]. Die Energiedichte lässt sich mit der Formel:

$$H = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

berechnet.[4] Im nachfolgenden wird auf die Photoablation und Photodisruption Interaktion näher eingegangen.

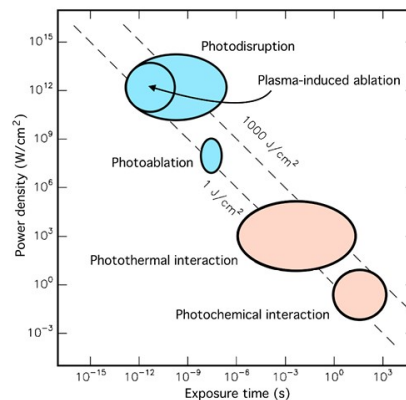


Abbildung 1: Laser-Gewebe-Reaktionsmechanismen in Abhängigkeit der Zeit

2.1 Photoablation

Bei der Photoablation kann sehr präzise Material abgetragen werden ohne eine thermische Schädigung, wie Koagulation oder Vaporisation. Hierbei wird das Gewebe einer hochintensiven gepulsten Laserbestrahlung ($107 - 109 \text{ W/cm}^2$) im Nanosekundenbereich ausgesetzt.[3] Dabei absorbiert eine dünne Oberflächenschicht die UV-Laserstrahlung.[2] Es kommt zu einem Übergang in abstoßend angeregten Zustand. Die Moleküle können instabil werden und sich in kleine Fragmente aufspalten. Es kommt zum Auswurf der Fragmente ohne eine Nekrotisierung. Und damit zur Ablation, also Ablösung der Gewebeschicht.[3]

2.2 Photodisruption

Einer der wichtigsten Anwendungen der Photodisruption ist die hintere Kapsulotomie der Linse, welche häufig bei einer Kataraktoperation erforderlich ist. Es handelt sich hier um einen optischen Durchbruch. Im Gegensatz zur Photoablation kommen hier höhere Leistungsdichten von $10^{10} - 10^{14} \text{ W/cm}^2$ zum Einsatz. Wie in Gleichung 1 beschrieben, ist die Energiedichte entscheidend für die Wirkung auf das Gewebe. Die Photodisruption beruht auf vier primären Mechanismen: Stoßwellen, Kavitation, Strahlbildung und Plasmabildung. Diese treten wie in Abbildung 2 gezeigt zeitversetzt auf. Dabei bewegt sich die Stoßwelle mit einem hohen Druckgradienten an der Schockfront aus. Diese bewegt sich mit Überschallgeschwindigkeit. Es kommt zu einer Kavitationsblase gefüllt mit gasförmigen Dämpfen, welche expandiert und anschließend kollabiert. Das wiederum löst eine erneute Stoßwelle mit Bildung einer Kavitationsblase wie in Abbildung 2 an 2nd erkennbar ist. In Flüssigkeiten und in der Nähe von festen Grenzen kann ein Teil der Kavitationsenergie in Strahlbildung umgewandelt werden. Die Folge der Mechanismen ist eine Zerstörung des Gewebes.[3]

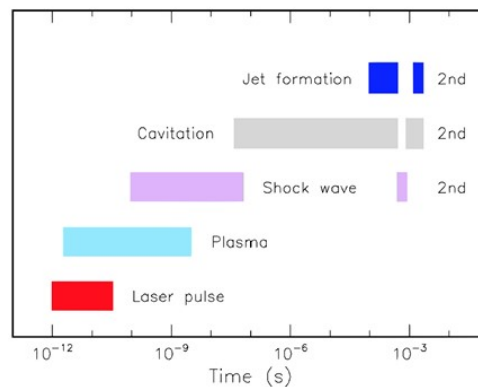


Abbildung 2: : Ungefähre zeitliche Abfolge aller Prozesse der Photodisruption bei einem Laserpuls von 30 ps

3 Fazit

Die Wechselwirkung von Laser mit Gewebe ist ein komplexer Prozess, welche sich in der Medizin zu nutze gemacht werden. Bei der Photoablation wird Gewebe präzise abgetragen, ohne thermische Schäden zu verursachen, während die Photodisruption höhere Leistungsdichten nutzt, um gezielte Zerstörungen zu erzeugen. Beide Mechanismen sind in der modernen Medizin von großer Bedeutung, da sie eine Vielzahl von therapeutischen Möglichkeiten bieten. Ein tiefes Verständnis dieser Wechselwirkungen ist essenziell, um die Sicherheit und Wirksamkeit laserbasierter Behandlungen zu optimieren.

Literatur

- [1] Jean-Luc Boulnois. Photophysical processes in recent medical laser developments: a review. *Lasers in medical science*, 1:47–66, 1986.
- [2] Hans-Joachim Cappius and Daniela Schädel. Lasersysteme. In *Medizintechnik: Verfahren-Systeme-Informationsverarbeitung*, pages 481–504. Springer, 2016.
- [3] A KM and S KM. Laser-tissue interactions fundamentals and applications-markolf h. niemz. *Energy*, 1000:1.
- [4] Claudia Schneeweiss, Jürgen Eichler, Martin Brose, Claudia Schneeweiss, Jürgen Eichler, and Martin Brose. Physikalische eigenschaften von laserstrahlung. *Leitfaden für Laserschutzbeauftragte: Ausbildung und Praxis*, pages 1–26, 2021.